

УДК 537.32

Анатичук Л.І. *ак. НАН України*,^{1,2}
Пасечнікова Н.В. *доктор мед. наук, НАМН України*,³
Кобилянський Р.Р. *канд. фіз.-мат. наук*^{1,2},
Науменко В.О.³, Задорожний О.С. *канд. мед. наук*³,
Гаврилюк М.В.^{1,2}, Тюменцев В.А.¹

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України, вул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна, e-mail: anatych@gmail.com;

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна,

³ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії
ім. В.П. Філатова НАМН України», Французький бульвар, 49/51,
Одеса, 65061, Україна, e-mail:zadoroleg2@gmail.com.

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ГІПОТЕРМІЇ ОКА ЛЮДИНИ

У роботі наведено результати розробки термоелектричного приладу у вигляді монокулярної пов'язки для контактного охолодження ока людини через повіки. Розроблений прилад дає можливість контрольованого локального контактного охолодження структур ока через повіки та призначений для лікування гострих і хронічних захворювань ока, зниження внутрішньоочного тиску, зменшення больового синдрому та запальних процесів ока. Наведено особливості конструкції приладу та його технічні характеристики. Бібл. 23, рис. 2, табл. 1.

Ключові слова: термоелектричний прилад, термоелектричне охолодження, гіпотермія ока людини.

Вступ

Терапевтична гіпотермія (ТГ) – це лікувальний вплив, який полягає в зниженні температури тіла хворого шляхом примусового відведення тепла від поверхні тіла або внутрішніх органів з метою зниження ризику ішемічного пошкодження тканин. ТГ у медицині відома вже більше 200 років як ефективний і доведений спосіб нейропротекції у хворих при деяких критичних станах, який забезпечує зниження смертності пацієнтів і зменшення обсягу пошкодження тканин головного мозку. У даний час ТГ розглядається як найбільш перспективний фізичний метод нейропротекторного захисту головного мозку, оскільки з позицій доказової медицини не існує жодного ефективного методу фармакологічної нейропротекції в нейрореанімаційній практиці [1]. ТГ успішно застосовується в різних галузях медицини (кардіохірургії, нейрохірургії, реаніматології тощо) з метою підвищення стійкості клітин головного мозку до умов ішемії [2 – 6].

Відомо, що церебральний метаболізм змінюється з температурою головного мозку, в середньому на 6-8 % при зміні температури ядра тіла на 1 °С [1]. Зниження температури нейронів центральної нервової системи обумовлює розвиток у них метаболічної депресії, що

призводить до зменшення споживання кисню, підвищення стійкості до гіпоксії, ішемії та реперфузії [7, 8]. У цілому в даний час виділяють наступні механізми нейропротекторної дії ТГ: гальмування деструктивних ензиматичних реакцій; супресія вільнорадикальних реакцій; протекція пластичності ліпопротеїнів цитоплазматичних мембран; зниження споживання кисню в областях головного мозку з низьким кровотоком; поліпшення доставки кисню в ішемічні зони головного мозку і зниження внутрішньочерепного тиску; пригнічення біосинтезу і продукції ексайтотоксичних нейротрансмітерів [9 – 12].

У той же час відомо, що загальна ТГ супроводжується ризиком ускладнень, тому може бути застосована тільки в умовах спеціально обладнаних реанімаційних відділень. У клінічних умовах в офтальмологічному стаціонарі вона не виправдана у зв'язку зі складністю її реалізації [3, 4]. В офтальмології є перспектива застосування локальної ТГ, наприклад, з метою зменшення внутрішньоочного тиску. На думку ряду авторів, даний ефект досягається за рахунок зменшення продукції внутрішньоочної рідини і поліпшення відтоку водянистої вологи. При цьому спостерігається і зменшення больового синдрому [13 – 15]. Є дані літератури про те, що локальна гіпотермія ока може приводити до зменшення продукції фібрину, зниження обсягу кровотечі, зменшення фотопшкодження під час хірургії [16]. Ряд авторів демонструють зниження хоріоїдального кровотоку і зменшення пошкодження гемато-ретинального бар'єру в умовах локальної гіпотермії [17, 18]. Є дані про застосування локальної гіпотермії для зниження запальних реакцій [19]. Відомо, що після локальної гіпотермії в оці відбуваються значні гемодинамічні зрушення, які характеризуються суттєвим розширенням судин і падінням периферичного їх опору, що ведуть до збільшення кровонаповнення судинного тракту, підвищення пульсового обсягу і швидкості кровотоку [20].

Існують різні способи охолодження ока. В експерименті було підтверджено, що при локальній контактній гіпотермії можливе зниження температури внутрішньоочних середовищ ока кролика, як при охолодженні безпосередньо зовнішньої поверхні рогівки, так і при впливі холоду через закриті повіки [21]. Для вирішення цього завдання можна використовувати, наприклад, міхур з льодом, накладаючи його на повіки [14]. Інший шлях досягнення локальної гіпотермії досягається за рахунок зрошення зовнішньої поверхні ока охолодженими розчинами. Під час внутрішньоочних хірургічних втручань локальну гіпотермію ока можна створювати шляхом зниження температури іригаційних розчинів [22]. Враховуючи сучасні технології, перспективним виглядає розробка спеціальних термоелектричних пристроїв для локального контактного охолодження ока. Це дозволить більш ефективно та контрольовано використовувати корисні ефекти ТГ для лікування офтальмологічних захворювань.

Тому метою даної роботи є розробка конструкції та виготовлення експериментального зразка термоелектричного приладу у вигляді монокулярної пов'язки для контактного охолодження ока людини через повіки.

Конструкція і технічні характеристики приладу

В Інституті термоелектрики НАН та МОН України в рамках договору про співробітництво з ДУ "Інститут очних хвороб та тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України" було розроблено термоелектричний прилад у вигляді монокулярної пов'язки для контактного охолодження ока людини через повіки (рис.1). Технічні характеристики приладу наведено у таблиці 1.

Прилад призначений для лікування гострих і хронічних захворювань ока, зниження внутрішньоочного тиску, зменшення больового синдрому та запальних процесів ока людини. Розроблений термоелектричний медичний прилад дає можливість контрольованого локального контактного охолодження структур ока через повіки та дозволяє розробити і впровадити технологію контрольованої локальної терапевтичної гіпотермії в офтальмології. Такий прилад є оригінальним та не має світових аналогів.



Рис. 1. Експериментальний зразок термоелектричного приладу у вигляді монокулярної пов'язки для контактного охолодження ока людини через повіки: 1 – охолоджуюча пластина, 2 – термоелектричний електронний блок охолодження, керування та живлення

Таблиця

Технічні характеристики приладу

№	Технічні характеристики приладу	Значення параметрів
1.	Діапазон робочих температур	$(+5 \div +40) ^\circ\text{C}$
2.	Точність підтримання температури	$\pm 0.2 ^\circ\text{C}$
3.	Дискретність вимірюваної і заданої температури	$\pm 0.1 ^\circ\text{C}$
4.	Похибка вимірювання температури, не більше	$\pm 0.2 ^\circ\text{C}$
5.	Теплове навантаження в зовнішньому контурі, не більше	20 Вт
6.	Загальна споживана потужність, не більше	120 Вт
7.	Напруга живлення (мережа змінного струму 50 Гц)	$220 \pm 10 \text{ В}$
8.	Габаритні розміри охолоджуючої пластини	$(75 \times 45 \times 12) \text{ мм}$

продовження таблиці

9.	Габаритні розміри термоелектричного електронного блоку охолодження, керування та живлення	(180 × 120 × 100) мм
10.	Продуктивність насосу	40 л/год
11.	Довжина шлангів із зовнішнім датчиком температури	1 м
12.	Вага приладу	1.5 кг
13.	Час виходу приладу на температурний режим	10 хв
14.	Час неперервної роботи приладу	48 год

Прилад складається з двох основних функціональних вузлів: охолоджуючої пластини 1 та термоелектричного електронного блоку охолодження, керування та живлення 2 (рис. 1). Охолоджуюча пластина 1 представляє собою рідинний теплообмінник, виготовлений з високотеплопровідного матеріалу – міді. Електронний блок 2 містить термоелектричний блок охолодження, блок живлення та електронний блок керування на основі програмованого терморегулятора типу RE-202. У свою чергу, термоелектричний блок охолодження містить термоелектричний модуль Пельтьє [23, 24], рідинні теплообмінники та циркуляційний насос.

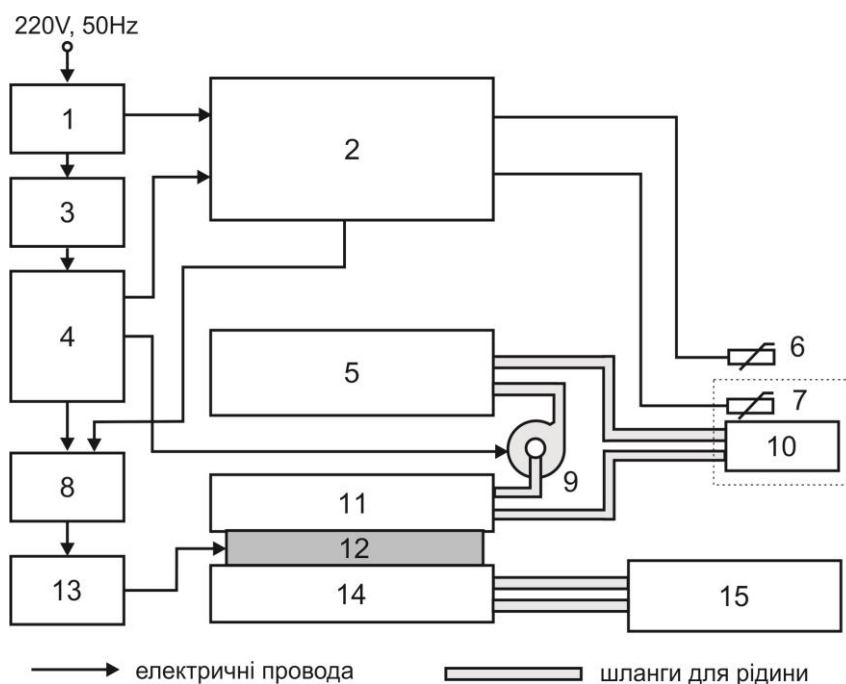


Рис. 2. Блок-схема термоелектричного приладу у вигляді монокулярної пов'язки для контактного охолодження ока людини через повіки: 1 – вимикач мережі 220 В, 2 – вимірювач-терморегулятор RE-202, 3 – вимикач блоку живлення, 4 – блок живлення, 5 – ємність з рідиною контура теплообмінника, 6 – датчик температури об'єкта, 7 – датчик температури контуру теплообмінника, 8 – перемикач роду роботи, 9 – циркуляційний насос, 10 – робочий теплообмінник рідинного контуру, 11 – активний теплообмінник рідинного контуру, 12 – термоелектричний модуль Пельтьє, 13 – силове реле увімкнення термоелектричного модуля Пельтьє, 14 – пасивний теплообмінник рідинного контуру, 15 – водопровідна мережа.

Термоелектричний модуль Пельтьє призначений для охолодження або нагріву циркулюючої у зовнішньому контурі рідини. Охолодження гарячої сторони цього термоелектричного модуля здійснюється внутрішнім рідинним контуром, що підключається до водопровідної мережі. Циркуляційний насос забезпечує циркуляцію рідинного теплоносія у зовнішньому контурі.

Блок живлення призначений для електричного живлення термоелектричного модуля від мережі змінного струму 220 В. Терморегулятор РЕ-202 здійснює вимірювання температури від внутрішніх і зовнішніх терморезистивних датчиків та формує керуючі сигнали для схеми керування. У свою чергу, схема керування здійснює керування термоелектричним модулем за заданою програмою з метою підтримки встановлених оператором робочих температур.

На передній панелі приладу розташовані тумблери «ВКЛ», «НАГРІВ / ОХЛ» і цифрове табло терморегулятора РЕ-202. На задній панелі приладу розташовані тумблер «МЕРЕЖА», роз'єм для підключення до мережі 220 В, роз'єми для підключення зовнішніх датчиків температури «Т1» і «Т2», штуцери «КОНТУР ВХІД», «КОНТУР ВИХІД», «ВОДА ВХІД», «ВОДА ВИХІД» та запобіжник 5 А.

Блок-схему термоелектричного приладу для контактного охолодження ока людини наведено на рис.2, де 1 – вимикач мережі 220 В, 2 – вимірювач-терморегулятор РЕ-202, 3 – вимикач блоку живлення, 4 – блок живлення, 5 – ємність з рідиною контура теплообмінника, 6 – датчик температури об'єкту, 7 – датчик температури контуру теплообмінника, 8 – перемикач роду роботи, 9 – циркуляційний насос, 10 – робочий теплообмінник рідинного контуру, 11 – активний теплообмінник рідинного контуру, 12 – термоелектричний модуль Пельтьє, 13 – силове реле увімкнення термоелектричного модуля Пельтьє, 14 – пасивний теплообмінник рідинного контуру, 15 – водопровідна мережа.

Принцип роботи приладу

Принцип роботи приладу полягає в охолодженні або нагріву (термостабілізації) ока людини з метою лікування гострих і хронічних захворювань ока, зниження внутрішньоочного тиску, зменшення больового синдрому та запальних процесів.

Запропонований прилад працює наступним чином. Після подачі електричного живлення і вибору режиму охолодження або нагріву, термоелектричний модуль підтримує задану терморегулятором температуру за допомогою циркулюючої в контурі рідини. Якщо в якості датчика зворотного зв'язку вибрано внутрішній датчик температури, то стабілізується задана температура в контурі рідини. Якщо в якості датчика зворотного зв'язку вибрано зовнішній датчик і він розташований в термостатуючому об'єкті, то відбувається стабілізація температури об'єкту.

Вказаний прилад простий, компактний, переносний та надійний в експлуатації, що дає можливість лікарю або медичному працівнику користуватися ним без спеціальної підготовки, попередньо ознайомившись з інструкцією. Таким чином, до технічних переваг такого приладу слід віднести: наявність вискоєфективного термоелектричного модуля Пельтьє, можливість вимірювання і підтримання заданої температури з дискретністю $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, безпечність використання приладу та можливість моніторингу температури поверхні ока людини у режимі реального часу.

Впровадження такого приладу в медичну практику матиме надзвичайно важливу соціальну та економічну значимість, оскільки дозволить зменшити ризик виникнення офтальмологічних ускладнень, зберегти життєздатність структур очей пацієнтів та забезпечити

надання висококваліфікованої допомоги як в спеціалізованих медичних закладах, так і в екстремальних умовах. Це, в свою чергу, забезпечить належні умови для збереження здоров'я людей, підвищить ефективність та якість надання медичної допомоги в системі охорони здоров'я і стане вагомим внеском у розвиток новітньої вітчизняної медичної термоелектричної апаратури.

Слід зазначити, що для підтвердження ефективності приладу, розробки методики лікування та проведення клінічних випробувань розроблений експериментальний зразок приладу для контактного охолодження ока людини через повіки було передано в ДУ "Інститут очних хвороб та тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України" у рамках договору про співробітництво. Результати клінічних випробувань приладу будуть предметом наступних публікацій по даній тематиці.

Висновки

1. Вперше розроблено конструкцію та виготовлено експериментальний зразок термоелектричного приладу у вигляді монокулярної пов'язки для контактного охолодження ока людини через повіки. Прилад призначений для лікування гострих і хронічних захворювань ока, зниження внутрішньоочного тиску, зменшення больового синдрому та запальних процесів ока людини. Запропонований прилад не має світових аналогів.
2. Розроблений термоелектричний медичний прилад дає можливість здійснювати контрольоване контактне охолодження структур ока людини в діапазоні температур $(+5 \div +40) ^\circ\text{C}$ та в подальшому дозволить розробити і впровадити технологію контрольованої локальної терапевтичної гіпотермії в офтальмології.

Література

1. Царев А.В. Целевой температурный менеджмент в клинической практике интенсивной терапии критических состояний / А. В. Царев // Медицина неотложных состояний. – 2014. – № 7. – С.186-191.
2. Alzaga A.G. Therapeutic hypothermia / A.G. Alzaga, M. Cerdan, J. Varon // Resuscitation – 2006. – Vol.70, (3). – P. 369-380.
3. Polderman K.H. Therapeutic hypothermia and controlled normothermia in the ICU: Practical considerations, side effects, and cooling methods / K.H. Polderman, I. Herold // Crit. Care Med. – 2009. – Vol. 37. – P. 1101-1120.
4. Saad H. Temperature management in cardiac surgery / H. Saad, M. Aladawy // Glob. Cardiol. Sci. Pract. – 2013. – Vol.1. – P. 44-62.
5. The Hypothermia after Cardiac Arrest Group. Mild therapeutic hypothermia to improve the neurologic outcome after cardiac arrest / The Hypothermia after Cardiac Arrest Group // N. Engl. J. Med. – 2002. – Vol.346. – P. 549-556.
6. Yenari M.A. Neuroprotective mechanisms of hypothermia in brain ischaemia / M.A. Yenari, H.S. Han // Nat. Rev. Neurosci. – 2012. – Vol.13. – P. 267-278.
7. Bernard S. Induced hypothermia in critical care medicine: A review / S. Bernard, M. Buist // Critical Care Medicine. - 2003. - Vol. 31. - P. 2041-2051.
8. Lampe J.W. State of the art in therapeutic hypothermia / J.W. Lampe, L.B. Becker // Annu. Re.

- Med. – 2011 – Vol. 11. – P.104-10.
9. Усенко Л.В. Искусственная гипотермия в современной реаниматологии. / Л.В. Усенко, А.В. Царев // *Общая реаниматология*. – 2009. – №. 5(1). – С.21-23.
 10. Mayer S.A., Sessler V.A. Therapeutic Hypothermia. - New York: Marcel Dekker, 2005. - 402 p.
 11. Nunnally M.E. Targeted temperature management in critical care: A report and recommendations from five professional societies / Nunnally M.E., Jaeschke R., Bellingan G.J. [et al.] // *Critical Care Medicine* – 2011. – Vol.39. – P.1113-1125.
 12. Safar P. Cerebral resuscitation from temporary complete global brain ischemia. In: Pinsky M. R. (ed.) *Cerebral blood flow: mechanisms of ischemia, diagnosis, and therapy*. Berlin: Springer; 2002. – P.106-36.
 13. Чанчиков Г.Ф. Влияние умеренной локальной гипотермии на офтальмотонус, зрительные функции и гидродинамику глаз больных глаукомой / Г.Ф. Чанчиков, З.П. Завольская, В.И. Березникова // *Офтальмологический журнал*. – 1978. – № 8. – С. 594-597.
 14. Шиф Л.В. Применение локальной гипотермии при остром приступе глаукомы и глаукоме в терминальной стадии, осложнившейся болевым синдромом / Л.В. Шиф, А.В. Таратынова, В.А. Нейман, Н.В. Ангелова // *Офтальмол. журнал*. – 1981. – № 3. – С. 187-188.
 15. Tamai K. Experimental study on local cooling of the eyeball in ocular surgery. The local cooling effect on uveal blood circulation, intraocular pressure, and intravitreal pressure / K. Tamai, A. Majima, F. Honda // *Nippon Ganka Gakkai Zasshi* – 1993. - Vol. 97. – P.509–513.
 16. Jabbour N.M. Local ocular hypothermia in experimental intraocular surgery / N.M. Jabbour, C.L. Schepens, S.M. Buzney // *Ophthalmology* – 1988. – Vol.95. – P. 1685-1690.
 17. Fujishima H. Increased comfort and decreased inflammation of the eye by cooling after cataract surgery / H. Fujishima, Y. Yagi, I. Toda, J. Shimazaki, K. Tsunoda // *Am. J. Ophthalmol.* – 1995. - Vol. 119. – P.301-306.
 18. Tamai K. Local hypothermia protects the retina from ischaemic injury in vitrectomy / K. Tamai, E. Toumoto, A. Majima // *Br J. Ophthalmol.* – 1997. - Vol. 81. – P.789-794.
 19. Золотарева М.М., Чвялева К.И., Василевич А.И. Гипотермия при глазных заболеваниях. – Минск, 1978. – 112 с.
 20. Лазаренко В.И. Влияние умеренной локальной гипотермии на гемо- и гидродинамические показатели здоровых глаз/ В.И. Лазаренко, Г.Ф. Чанчиков, И.М. Корниловский, В.Г. Гайдабур. - *Офтальмологический журнал*, 1976. - №6. - С. 419-422.
 21. Задорожний О.С. Экспериментальное исследование эпibuльбарной и интраокулярной температуры кролика в условиях гипотермии / О.С. Задорожний, Р.Э. Назаретян, В.В. Мирненко, В.А. Науменко, Н.В. Пасечникова // *Офтальмология. Восточная Европа* – 2018. - № 1. – С. 73-81.
 22. Анатичук Л.И. Динамика внутриглазной температуры в процессе витреоретинальной хирургии с применением ирригационных растворов различной температуры / Анатичук Л.И., Пасечникова Н.В., Науменко В.А., Назаретян Р.Э., Уманец Н.Н., Кобылянський Р.Р., Задорожний О.С. // *Офтальмол. журн.* – 2019. – № 1. – С. 33-38.
 23. Анатичук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: / Л.И. Анатичук // *Справочник*. -К.: Наук. думка. - 1979. - 768 с.
 24. Анатичук Л.И. Термоэлектричество. Т.2. Термоэлектрические преобразователи энергии. Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. – 376 с.

Надійшла до редакції 10.07.2019

Анатичук Л.І. *ак. НАН України*,^{1,2}
Пасечнікова Н.В. *доктор мед. наук, НАМН України*,³
Кобылянський Р.Р. *канд. физ.-мат. наук*,^{1,2}
Прибила А.В. *канд. канд. физ.-мат. наук*,^{1,2}
Науменко В.О.³, **Задорожний А.С.** *канд. мед. наук*,³
Гаврилюк Н.В.^{1,2}, **Тюменцев В.А.**¹

¹Інститут термоелектричності НАН і МОН України, ул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна, *e-mail: anatych@gmail.com*;

²Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,
ул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012, Україна,

³ГУ «Інститут очних захворювань і тканинної терапії
ім. В.П. Філатова НАМН України»,
Французький бульвар, 49/51, г. Одеса, 65061, Україна,
e-mail: zadoroleg2@gmail.com.

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ ГИПОТЕРМИИ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА

В работе приведены результаты разработки термоэлектрического устройства в виде монокулярной повязки для контактного охлаждения глаза человека через веко. Разработанный прибор дает возможность контролируемого локального контактного охлаждения структур глаза через веко и предназначен для лечения острых и хронических заболеваний глаза, снижения внутриглазного давления, уменьшения болевого синдрома и воспалительных процессов глаза. Приведены особенности конструкции прибора и его технические характеристики. Библ. 23, рис. 2, табл. 1.

Ключевые слова: термоэлектрический прибор, термоэлектрическое охлаждение, гипотермия глаза человека.

L.I. Anatychuk *acad. National Academy of Sciences of Ukraine*^{1,2},
N.V. Pasechnikova *doctor med. sciences, National Academy
of medical sciences of Ukraine*³,
R.R. Kobylanskyi *cand. Phys.-math. sciences*^{1,2},
A.V. Prybyla *cand. phys.-math. sciences*^{1,2},
V.O. Naumenko *doctor med. sciences*³,
O.S. Zadorozhnyi *cand. med. sciences*³,

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

²Yu. Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsyubinsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine;

³State Institution “The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy
of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”,
49/51, Frantsuskiy Boulevard, Odessa, 65061, Ukraine.
e-mail:zadoroleg2@gmail.com.

THERMOELECTRIC DEVICE FOR HYPOTHERMIA OF THE HUMAN EYE

The paper presents the results of the development of a thermoelectric device in the form of a monocular dressing for contact cooling of the human eye through the eyelids. The developed device allows controlled local contact cooling of the eye structures through the eyelids and is designed to treat the acute and chronic eye diseases, reduce intraocular pressure, and reduce pain and inflammatory processes of the eye. The design features of the device and its technical characteristics are presented. Bibl. 23, Fig. 2, table 1.

Key words: thermoelectric device, thermoelectric cooling, hypothermia of the human eye.

References

1. Tsarev A.V. (2014). Tselevoi temperaturnyi menedzhment v klinicheskoi praktike intensivnoi terapii kriticheskikh sostoianii [Targeted temperature management in the clinical practice of critical state intensive therapy]. *Medsina neotlozhnykh sostoianii – Emergency Medicine*, 7, 186-191 [in Russian].
2. Alzaga A.G., Cerdan M., Varon J. (2006). Therapeutic hypothermia. *Resuscitation*, 70 (3), 369-380.
3. Polderman K.H., Herold I. (2009). Therapeutic hypothermia and controlled normothermia in the ICU: Practical considerations, side effects, and cooling methods. *Crit. Care Med.*, 37, 1101-1120.
4. Saad H. , Aladawy M. (2013). Temperature management in cardiac surgery. *Glob. Cardiol. Sci. Pract.*, 1, 44-62.
5. The hypothermia after cardiac arrest group. Mild therapeutic hypothermia to improve the neurologic outcome after cardiac arrest. (2002). *N. Engl. J. Med.*, 346, 549-556.
6. Yenari M.A., Han H.S. (2012). Neuroprotective mechanisms of hypothermia in brain ischaemia. *Nat. Rev. Neurosci*, 13, 267-278.
7. Bernard S., Buist M. (2003). Induced hypothermia in critical care medicine: A review. *Critical Care Medicine*, 31, 2041-2051.
8. Lampe J.W., Becker L.B. (2011). State of the art in therapeutic hypothermia. *Annu. Re. Med.*, 11, 104-10.
9. Usenko L.V., Tsarev A.V. (2009). Iskusstvennaia hipotermiia v sovremennoi reanimatologii [Artificial hypothermia in modern resuscitation]. *Obshchaya reanimatologiya – General Resuscitation*, 5(1), 21-23.
10. Mayer S.A., Sessler V.A. (2005). *Therapeutic hypothermia*. New York: Marcel Dekker.
11. Nunnally M.E., Jaeschke R., Bellingan G.J., et al. (2011). Targeted temperature management in critical care: A report and recommendations from five professional societies. *Critical Care Medicine*, 39, 1113-1125.
12. Safar P. (2002). *Cerebral resuscitation from temporary complete global brain ischemia*. In: *Cerebral blood flow: mechanisms of ischemia, diagnosis, and therapy*. Pinsky M.R.(Ed.) Berlin: Springer.

12. Chanchikov G.F., Zavolskaia Z.P., Bereznikova V.I. (1978). Vliianiie umerennoi lokalnoi hipotermii na ophtalmotonus, zritelnyie funktsii i gidrodinamiku glaz bolnykh glaukomoj [Influence of moderate local hypothermia on intralocular tension, visual functions and hydrodynamics of patients ill with glaucoma]. *Oftalmologicheskii Zhurnal - J. Ophthalmology*, 8, 594-597 [in Russian].
13. Shif L.V., Taratynova A.V., Neiman V.A., Angelova N.V. (1981). Primeneniie lokalnoi gipotermii pri ostrom pristupe glaukomy i glaukome v terminalnoi stadii, oslozhnivsheisia bolevym sindromom [The use of local hypothermia in an acute attack of glaucoma and glaucoma in the terminal stage, complicated by pain]. *Oftalmologicheskii Zhurnal - J. Ophthalmology*, 3, 187-188 [in Russian].
14. Tamai K., Majima A., Honda F. (1993). Experimental study on local cooling of the eyeball in ocular surgery. The local cooling effect on uveal blood circulation, intraocular pressure, and intravitreal pressure. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*, 97, 509-513.
15. Jabbour N.M., Schepens C.L., Buzney S.M. (1998). Local ocular hypothermia in experimental intraocular surgery. *Ophthalmology*, 95, 1685-1690.
16. Fujishima H., Yagi Y., Toda I., Shimazaki J., Tsuota K (1995). Increased comfort and decreased inflammation of the eye by cooling after cataract surgery. *Am. J. Ophthalmol.*, 119, 301-306.
17. Tamai K., Toumoto E., Majima A. (1997). Local hypothermia protects the retina from ischaemic injury in vitrectomy. *Br J. Ophthalmol.*, 81, 789-794.
18. Zolotareva M.M., Chvialeva K.I., Vasilevich A.I. (1978). *Gipotermiia pri glaznykh zabolevaniiax [Hypothermia with eye diseases]*. Minsk [in Russian].
19. Lazarenko V.I., Chanchikov G.F., Kornilovskii I.M., Gaidabura V.G. (1976). Vliianiie umerennoi lokalnoi hipotermii na hemo- i hidrodinamicheskie pokazateli zdorovykh glaz [Influence of moderate local hypothermia on the hemo-and hydrodynamic parameters of healthy eyes]. *Oftalmologicheskii Zhurnal - J. Ophthalmology*, 6, 419-422 [in Russian].
20. Zadorozhnyi O.S., Nazaretian R.E., Mirnenko V.V., Naumenko V.A., Pasechnikova N.V. (2018). *Ekspperimentalnoie issledovaniie epibulbaroi i intraokuliarnoi temperatury krolika v usloviiax hipotermii [Experimental study of epibulbar and intraocular temperature of rabbit under hypothermia]*. *Oftalmologiya. Vostochnaia Evropa - Ophthalmology. Eastern Europe*, 1, 73-81.
21. Anatyshuk L.I., Pasechnikova N.V., Naumenko V.A., Nazaretian R.E., Umanets N.N., Kobylianskyi R.R., Zadorozhnyi O.S. (2019). Dynamics of intraocular temperature in the process of vitreoretinal surgery using irrigational solutions of various temperature. *Oftalmologicheskii Zhurnal - J. Ophthalmology*, 1, 33-38 [in Russian].
22. Anatyshuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskie ustroistva. Spravochnik (Thermoelements and thermoelectric devices. Handbook)*. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
23. Anatyshuk L.I. (2003). *Termoelektrichestvo.T.2. Termoelektricheskie preobrazovateli energii [Thermoelectricity. Vol.2. Thermoelectric power converters]*. Kyiv-Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity [in Russian].

Submitted 10.07.2019